

BEST AVAILABLE COPY

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
MINISTÈRE
DU DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL
ET SCIENTIFIQUE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE



(11) 1.589.243

BREVET D'INVENTION

- (21) № du procès verbal de dépôt 169.228 - Paris.
(22) Date de dépôt 9 octobre 1968, à 14 h 8 mn.
Date de l'arrêté de délivrance 23 mars 1970.
(46) Date de publication de l'abrégé descriptif au
Bulletin Officiel de la Propriété Industrielle. 30 avril 1970 (n° 18).
(51) Classification internationale C 22 c H 01 f.

(54) **Bandes et plaques d'acier électrotechniques laminées à froid à propriétés magnétiques isotropes et procédés de fabrication.**

- (72) Invention : Mihaly Stefan, Zoltan Hegedus et Fülöp Balazs.
(71) Déposant : Organisme dit : CSEPELI-FEMMU, résidant en Hongrie.

Mandataire : Regimbeau, Corre & Paillet.

- (30) Priorité conventionnelle :
(32) (33) (31) *Brevet déposé en Hongrie le 9 octobre 1967, n° SE 1.385 aux noms de Mihaly Stefan, Zoltan Hegedus et Fülöp Balazs.*

L'invention concerne des bandes et des plaques d'acier électrotechniques laminées à froid à propriétés magnétiques isotropes, obtenues par lamination et traitement à chaud. L'invention concerne en outre un procédé pour leur fabrication.

On sait que la qualité des bandes et des plaques d'acier utilisées pour la fabrication des transformateurs s'est brusquement améliorée en 1955, lorsque au lieu de se servir de plaques laminées à chaud comme on le faisait jusqu'à cette date, on introduisit la production de bandes et de plaques de transformateurs laminées à froid, alt-r. 88/15, avec la texture dite de "Goss", qui présentent des caractéristiques magnétiques connues. Mais ces bandes ont l'inconvénient de n'avoir des propriétés magnétiques avantageuses que dans le sens du laminage; dans les autres sens apparaissent des caractéristiques magnétiques nuisibles. C'est ainsi que par exemple, la perte en Watt V_{10} d'une bande laminée à froid de bonne qualité, texture Goss, 0,48 W/kg dans le sens du laminage et 1,37 W/kg dans le sens perpendiculaire alors que son induction dans un champ magnétique de 25 Am/cm est de 16 900 G dans le sens du laminage et de 14 200 G seulement dans le sens perpendiculaire. Bien entendu, on ne peut fabriquer de tels transformateurs à partir de bandes qui offrent des caractéristiques magnétiques de ce genre, que lorsque la direction des lignes de force magnétiques correspond à celle du laminage. C'est pourquoi les noyaux E, I et M habituellement fabriqués par pressage de plaques de transformateurs laminées à chaud ne peuvent être produits avec des bandes de transformateurs structurées.

Compte tenu des remarques précédentes, des procédés spéciaux, plus onéreux que ceux des techniques antérieures ont été mis en oeuvre pour la fabrication des transformateurs (induits avec enroulement, bobinés estampés avec enroulement). Bien que les bandes laminées à froid présentent de nombreux avantages sur les bandes laminées à chaud, les transformateurs sont aujourd'hui fabriqués avec des dimensions plus petites au moyen de plaques d'acier laminées à chaud avec des propriétés magnétiques isotropes, c'est-à-dire possédant ces propriétés dans toutes les directions; cette évolution est la conséquence des coûts élevés et des conditions difficiles de traitement des bandes laminées à froid avec caractéristiques magnétiques orientées dans une direction. Les avantages du premier mode de fabrication sur le second sont principalement les suivants :

- a) la tolérance de masse, la qualité de surface,
- 40 la caractéristique de pose sur une surface plane des bandes laminées

à chaud. Il en résulte que le remplissage de l'espace dans le cas des induits estampés à partir de bandes laminées à froid est bien meilleur que pour les induits fabriqués avec des plaques laminées à chaud.

b) Compte tenu des possibilités de laminage, la teneur en silicium des matériaux de transformateurs laminés à froid ne doit pas excéder 3,5%. Pour les plaques de transformateurs laminées à chaud, par contre, la teneur en silicium dépasse 4% afin de réduire la saturation des pertes d'inversion magnétique. Du fait de ceux plus élevés de la teneur en silicium, une plaque laminée à chaud dispose, à égalité de perte en watt, d'une induction moindre que la plaque laminée à froid. De plus, elle est beaucoup plus fragile que cette dernière. Cette fragilité entraîne des difficultés pour le pressage et augmente l'emploi d'outillage d'une manière importante.

c) Dans le cas de la fabrication d'induits avec des bandes laminées à froid, qui sont cisaillées suivant une largeur correspondant au but d'utilisation, la quantité des chutes est bien moindre que pour le traitement des plaques de dimension habituelle laminées à chaud. Pour les bandes, en effet, il ne se forme des déchets que par suite du cisaillage dans le sens de la largeur, et la quantité de chutes résultant de la coupe finale est négligeable du fait de l'emploi de bandes sans fin. En cas d'utilisation de bandes, l'augmentation de la capacité de production est également assurée avec des induits estampés du fait que ces bandes permettent une excellente utilisation de presses automatiques à estampier de grande capacité.

Le but de l'invention est l'exploitation d'un procédé qui rend possible, grâce au laminage à froid et à un court traitement à chaud, la fabrication de bandes et de plaques d'acier électrotechniques avec une perte réduite en Watt et avec des caractéristiques isotropes magnétiques, d'une manière simple et rapide.

L'invention repose entre autre, sur la connaissance du fait que l'on peut porter à un niveau tout à fait favorable la valeur des propriétés magnétiques des bandes et des plaques d'acier avec des caractéristiques isotropes magnétiques dans le cas d'un bref traitement thermique, lorsque le lingot de base à laminer contient une certaine proportion d'aluminium ou de gallium. Cette observation est assez surprenante, car jusqu'à présent on admettait en général que la teneur en aluminium des bandes pour transformateurs, laminées à froid influençait désavantageusement les propriétés magnétiques.

L'invention repose en outre la connaissance du fait que dans le cas d'utilisation pour le laminage d'un lingot d'acier

contenant une certaine quantité d'aluminium et/ou de gallium - la durée du dernier traitement thermique peut être réduite sensiblement et il ne se produit pas de vieillissement influençant néfialement les caractéristiques magnétiques lorsque l'on effectue le dernier laminage à froid avec une réduction d'épaisseur de 3-10... Cette constatation est frappante, car on ne pouvait absolument pas prévoir qu'il fut possible de réduire la durée du dernier traitement thermique de 4 heures habituellement pratiquée; à quelques minutes, en remarquant en particulier le fait que dans les méthodes appliquées en général jusqu'à présent, la durée du dernier traitement à chaud dépassait parfois 100 heures. Il est en outre également remarquable que, malgré un laminage réalisé avec une réduction d'épaisseur de 3 à 10, il n'apparaît aucun phénomène de vieillissement.

L'invention est par ailleurs motivée par cet autre fait que l'on peut assurer la liberté de texture des bandes fabriquées dans la dernière phase du laminage à froid au moyen d'une diminution d'épaisseur déterminée, lorsqu'on utilise comme produit de base un lingot d'acier contenant une certaine quantité d'aluminium et/ou de gallium et lorsque la production de chaleur au niveau de la température de réchauffage a lieu avant la dernière phase du laminage à froid à la condition que l'échauffement à la température du dernier traitement thermique soit effectué avec une grande vitesse.

Enfin, l'invention est basée sur le fait que, dans le cas d'un dernier traitement thermique effectué sur des éléments de plaques formées par pressage à partir de bandes laminées à froid sur mesure, les propriétés magnétiques des bandes peuvent encore être toujours améliorées par le développement d'un champ magnétique tournant, dans la section de refroidissement située au dessous du point Curie.

Jusqu'à présent, un traitement magnétique n'était utilisé au cours des opérations thermiques que dans un champ magnétique dirigé dans un certain sens, ce qui permettait d'accroître l'anisotropie magnétique. On aurait donc pu s'attendre à ce que le traitement dans un champ magnétique tournant, dans le cas d'induits de structure isotrope fût désavantageux au fait de la diminution de l'anisotropie.

L'invention concerne des bandes ou des plaques d'acier électrotechniques laminées à froid avec des caractéristiques isotropes magnétiques, lesquelles contiennent, suivant l'invention, pour une teneur maximale en silicium de 4% en poids, 0,05-0,5 d'aluminium en poids et/ou en moins 3 ppm de gallium.

En outre, l'invention concerne un procédé de fabrication de ces bandes et plaques d'acier électrotechniques laminées à froid. Suivant l'invention, on procède de façon à obtenir pour les lingots d'acier à laminer contenant au maximum 4% de son poids en silicium les valeurs indiquées ci-dessus relatives à la teneur en aluminium et en vanadium; le lingot d'acier est ensuite laminé à chaud d'une manière connue, puis laminé à froid et traité à chaud de sorte que le réchauffement ait lieu à la température de recuit d'adoucissement avant la dernière phase de laminage à froid et le cas échéant, à la température du dernier traitement à chaud à une vitesse de réchauffage d'au moins 150° C/minute de préférence de 300-500° C/minute, tandis que le recuit d'adoucissement s'effectue lui-même au moins pendant 2 minutes à une température d'au moins 700° C et que le dernier laminage à froid consécutif est exécuté avec un retrait (réduction d'épaisseur) de 3-10% au mieux de 4-6%; finalement le dernier traitement thermique se fait à une température de 800-1000° C au moins pendant 2 minutes dans une atmosphère de réduction ou inerte.

Suivant une forme avantageuse d'exécution de la méthode conforme à l'invention, on procède de façon que pendant le dernier traitement thermique de bandes laminées dans leur dimension finale, dans la période de refroidissement à une température comprise entre 600° C et 500° C dans une atmosphère de vapeur d'eau, il se forme une couche d'oxyde isolante électrique sur la surface des bandes.

Pour la fabrication à partir de bandes laminées dans leur dimension finale provenant d'éléments pressés et de noyaux, le dernier traitement thermique est effectué à une température de 800-1150° C au moins pendant 5 minutes dans une atmosphère réductrice ou inerte. Dans le dernier traitement thermique de ces éléments ou noyaux il convient d'utiliser un champ magnétique tournant dans la période de refroidissement située au dessous du point de cure.

Le dernier traitement thermique d'éléments pressés et de noyaux provenant de bandes laminées à leur dimension extrême est utilisé avantageusement dans le cas où l'exploitation qui utilise les bandes d'acier électrotechniques présentant des propriétés magnétiques isotropes, possède la possibilité d'un traitement à chaud. Cette méthode présente l'avantage particulier d'éviter les inconvénients essentiels des procédés pratiqués habituellement jusqu'à ce jour. Au cours du pressage d'éléments et de noyaux, mais particulièrement dans le cas de l'utilisation d'outillage insuffisamment préparé à l'avance ou détérioré, la formation de fissures était en effet inévitable.

Par suite des déformations plastiques survenant sur les bords, les propriétés magnétiques étaient réduites dans les cas extrêmes de 25%. Dans le cas de derniers traitements thermiques de ce genre, la durée de ce traitement est fonction de la température, attendu qu'aux basses températures un traitement thermique plus long est indispensable.

Les principaux avantages à attendre d'un procédé conforme à l'invention, peuvent être mentionnés comme suit :

1) Sur le plan industriel, le procédé est réalisable d'une manière simple.

10 2) Le procédé permet la fabrication de bandes de transformateurs laminées à froid, dont la qualité et les caractéristiques magnétiques sont meilleures que celles des plaques de transformateurs laminées à chaud. Alors que, par exemple, la perte V_{10} d'une plaque laminée à chaud de 0,35 mm d'épaisseur atteint en général 1,1-1,8 W/kg, et que les pertes inférieures à 1,1 W/kg ne peuvent être obtenues qu'au moyen d'une technique spéciale, et en outre que les valeurs de l'induction B_{25} s'élèvent à 14 400-14 500 Am/cm, le procédé de l'invention permet d'obtenir des pertes V_{10} de 0,8-1,1 W/kg et des inductions de plus de 15 500 Am/cm.

20 3) Le traitement à chaud à réaliser pour les qualités supérieures ne doit être effectué que sur une période extrêmement courte et à des basses températures.

4) Il est possible de fabriquer des bandes avec une surface oxydée, c'est-à-dire pourvue d'une couche isolante.

25 5) Pendant le processus de fabrication, il ne se forme aucune structure nuisible, c'est pourquoi l'anisotropie magnétique des bandes produites n'excède pas 15%.

30 6) Le vieillissement qui réduit considérablement les propriétés magnétiques des matériaux pendant leur utilisation, peut être évité.

Le procédé découlant de l'invention sera expliqué en détail sur la base des exemples ci-après, indiquant plusieurs méthodes recommandées pour la fabrication d'une bande de 0,35 mm d'épaisseur avec des caractéristiques magnétiques isotropes. Il convient cependant de remarquer que le procédé conforme à l'invention permet également de fabriquer des bandes et des plaques électrotechniques ayant des caractéristiques magnétiques isotropes et de dimensions différentes.

EXEMPLE 1 -

40 Un alliage fer-silicium est produit dans un four à arc, alliage ayant une teneur nominale en silicium de 2,9% et une

teur en aluminium de 0,18% et ne contenant qu'une quantité minime d'impuretés.

Le lingot d'acier est laminé à une épaisseur de 2,0-2,2 mm. Après décapage, le produit est laminé à froid, jusqu'à ce qu'une épaisseur de 0,37 mm soit atteinte en plusieurs phases. Le produit est ensuite réchauffé dans un four avec une vitesse calorifique de 400°-500°/minute à 860° C, et maintenu pendant 3 minutes à cette température. Le recuit d'adoucissement est effectué dans une atmosphère de séparation ammoniacale à partir d'un point de rosée compris entre + 20° C et + 50° C.

Le dernier laminage est ensuite continué de 0,37 mm d'épaisseur jusqu'à 0,35.

Les bandes laminées dans la dimension prévue sont ensuite soumises dans un four à 900° C à un traitement thermique dans une atmosphère de gaz protecteur réductrice, de telle sorte que le matériau demeure pendant 7 minutes à la température prescrite. Afin de développer une couche isolante, l'atmosphère du four est contrôlée de façon que les produits traités à ci-dessus passent pendant leur refroidissement de 580° C à 300° C dans une zone saturée avec le gaz de protection de la combinaison ci-dessus et depuis un point de rosée compris entre + 20° C et + 50° C.

Les bandes grises produites de cette manière, avec une couche d'oxyde bien adhérente sont livrables comme des plaques enroulables sur des bobines ou réductibles en pièces; perte en Watt V_{10} : 1,08 W/kg.

EXEMPLE 2 -

Les éléments de plaques formés recherchés sont pressés à partir de bandes laminées produites selon la manière décrite dans l'exemple 1 et jusqu'à une épaisseur de 0,35 mm, et ils sont soumis dans un four à 500° C dans une atmosphère de gaz protecteur réductrice contenant 25% H_2 et 75% N_2 à un traitement thermique pendant une heure. La perte en Watt V_{10} des éléments de plaques formées terminées dans ce type de fabrication atteint 1,03 W/kg.

EXEMPLE 3 -

On procède de la manière décrite dans l'exemple 1, mais la teneur en aluminium de l'alliage est fixée à 0,09%. Les bandes d'acier produites de cette manière accusent une perte en Watt V_{10} de 1,09 W/kg.

EXEMPLE 4 -

Un alliage fer-silicium est produit dans un four

à arc, avec une teneur nominale en silicium de 2,9% et une teneur en aluminium de 0,10%, ne contenant qu'une faible quantité d'impuretés. Pour cela, on fait usage pour l'introduction de l'aluminium d'un bloc de ce métal qui au préalable a été allié avec 1% en poids de gallium. 5 Ensuite, on procède de la manière décrite dans l'exemple 1. Les bandes d'acier produites suivant ce procédé accusent une perte en Watt V₁₀ de 0,88 W/kg.

EXEMPLE 5 -

Un alliage fer-silicium est produit dans un four à induction à creuset, avec une teneur nominale en silicium de 3,1% et une teneur nominale en gallium de 50 mg/kg et ne contenant qu'une faible quantité d'impuretés. Pour le reste, nous renvoyons au mode opératoire décrit dans l'exemple 1. Les bandes d'acier produites de cette manière accusent une perte en Watt V₁₀ de 0,90 W/kg.

15 EXEMPLE 6 -

Un alliage fer-acier contenant 3,2% de silicium et 0,09% d'aluminium est produit dans un four à arc, ce produit ne présente qu'une faible quantité d'impuretés. Le coulage et le laminage à chaud de l'alliage sont effectués suivant la manière décrite dans l'exemple 1. Après décapage, on procède au laminage à droit en plusieurs phases jusqu'à une épaisseur de 0,50 mm; le produit est ensuite soumis à un traitement thermique dans une atmosphère de gaz protecteur exothermique dans un four à 720° C pendant 4 heures. Un laminage à froid est ensuite exécuté jusqu'à une épaisseur de 0,38 mm. Enfin, les bandes sont réchauffées dans un four à atmosphère réductrice avec une vitesse calorifique de 400° C - 500° C/min. à 800°C, et maintenues à cette température pendant 5 minutes, et il est procédé à un dernier laminage de 0,38 mm à 0,35 mm.

Les bandes laminées à la dimension désirée sont soumises à un traitement thermique dans une atmosphère de séparation de gaz ammoniacal à 900° C à partir d'un point de rosée entre + 20° C et + 50° C, de telle sorte que les bandes restent pendant 12 minutes à la température de traitement thermique. Les bandes fabriquées de cette manière accusent une perte en Watt V₁₀ de 0,99 W/kg.

35 EXEMPLE 7 -

On procède comme dans l'exemple 2 décrit ci-dessous, c'est-à-dire les éléments de plaques, formés sont soumis dans la section de refroidissement du dernier traitement à chaud, après obtention d'une température de 700° C- à l'action d'un champ magnétique tournant d'une intensité de 15 Oersted. Les éléments de plaques formés ainsi fabriqués ont une perte en watt de 0,78 W/kg.

EXEMPLE 8 -

On procède comme dans l'exemple 4 décrit ci-dessus, mais les éléments de plaques formés sont pressés à partir de bandes laminées d'une épaisseur de 0,35 mm sans dernier traitement à chaud-, et ces éléments sont soumis dans un four à 900° C dans une atmosphère de gaz de protection pendant une heure à un traitement thermique. Il est fait usage d'un champ magnétique tournant dans la section de refroidissement du traitement thermique de la manière décrite dans l'exemple 7. Les éléments de plaques formés ainsi fabriqués accusent une perte en watt de 0,79 W/kg.

R E S U M E

La présente invention concerne notamment :

1°) - Bandes et plaques d'acier électrotechniques laminées à froid, avec caractéristiques magnétiques isotropes, caractérisées par le fait qu'elles ont une teneur maximale en silicium de 4% en poids, 0,05-0,5% en poids d'aluminium et/ou au moins de 3 ppm de gallium.

2°) - Bandes et plaques d'acier électrotechniques laminées à froid selon 1°, caractérisées par le fait qu'elles ont une teneur en aluminium de 0,10-0,15 en poids, avec 30 à 60 ppm de gallium.

3°) - Procédé de fabrication de bandes et de plaques électrotechniques laminées à froid, selon 1 ou 2 caractérisé par le fait que le lingot d'acier est laminé à chaud d'une manière continue et ensuite, laminé à froid et traité à la chaleur de manière que le réchauffement ait lieu à la température de recuit d'adoucissement avant la dernière phase du laminage à froid; le cas échéant que le réchauffage est effectué à la température du dernier traitement thermique à une vitesse de réchauffement d'au moins 150° C/min. de préférence de 300-500° C/min. tandis le recuit d'adoucissement lui même se fait au moins pendant 2 minutes à une température d'au moins 700° C et le dernier laminage à froid consécutif avec un retrait (diminution d'épaisseur) de 3-10%, avantageusement de 4-6% et que le dernier traitement thermique est réalisé à une température de 800-1000° C au moins pendant deux minutes en atmosphère réductrice ou inerte.

4°) - Procédé selon 3, caractérisé par le fait que pendant le dernier traitement thermique des bandes laminées à leur dimension finale dans la période de refroidissement à une température entre 600° C et 300° C dans une atmosphère contenant de la vapeur d'eau,